

SIP-adus Workshop 2020



高速道路の合流支援サービスの取組

国土交通省 国土技術政策総合研究所
道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
中川 敏正

SIP-adus Workshop 2020

1. 高速道路の合流支援サービスの概要
2. 高速道路の合流支援サービスの実証実験
3. ドライビングシミュレーターによる合流支援情報の効果評価実験
4. 今後の課題



SIP-adus Workshop 2020



高速道路の合流支援サービスの概要

合流支援サービスとは

- 高速道路の合流部において、本線の交通状況を把握し、合流しようとする自動運転車に情報提供することで、円滑な合流を支援するサービス
- 円滑な合流にあたっての連結路における事前の速度調整に活用するための支援を目的としており、最終的な安全確認は、自動運転車側の車載センサで行う



合流支援サービス(DAY1/DAY2)の定義

- 合流支援サービスは、本線の交通状況を**断面**で検知して**スポット**で情報提供する**DAY1**と**一定区間**の本線の交通状況を検知し、将来的な通信手段による**連続通信**で情報提供する**DAY2**の2つが考えられる

	本線交通状況の検知	合流車への情報提供	イメージ
DAY1	<ul style="list-style-type: none">● 本線車両の走行を断面で検知	<ul style="list-style-type: none">● 本線の交通状況をスポットで情報提供	<p>本線車両情報を配信 (ETC2.0等)</p> <p>加速レーン起点</p> <p>本線車両の走行を断面でセンシング</p> <p>合流車は本線車両情報を元に加速レーン起点で本線走行車両と横並びにならないように走行速度を制御</p>
DAY2	<ul style="list-style-type: none">● 一定区間の本線車両の走行を検知	<ul style="list-style-type: none">● 本線の交通状況を連続通信で情報配信	<p>本線車両情報を連続的に配信</p> <p>加速レーン起点</p> <p>本線車両の走行を連続的にセンシング</p> <p>合流車は本線車両情報を元に加速レーン起点で本線走行車両と横並びにならないように走行速度を制御</p>

**SIP-adus
Workshop
2020**



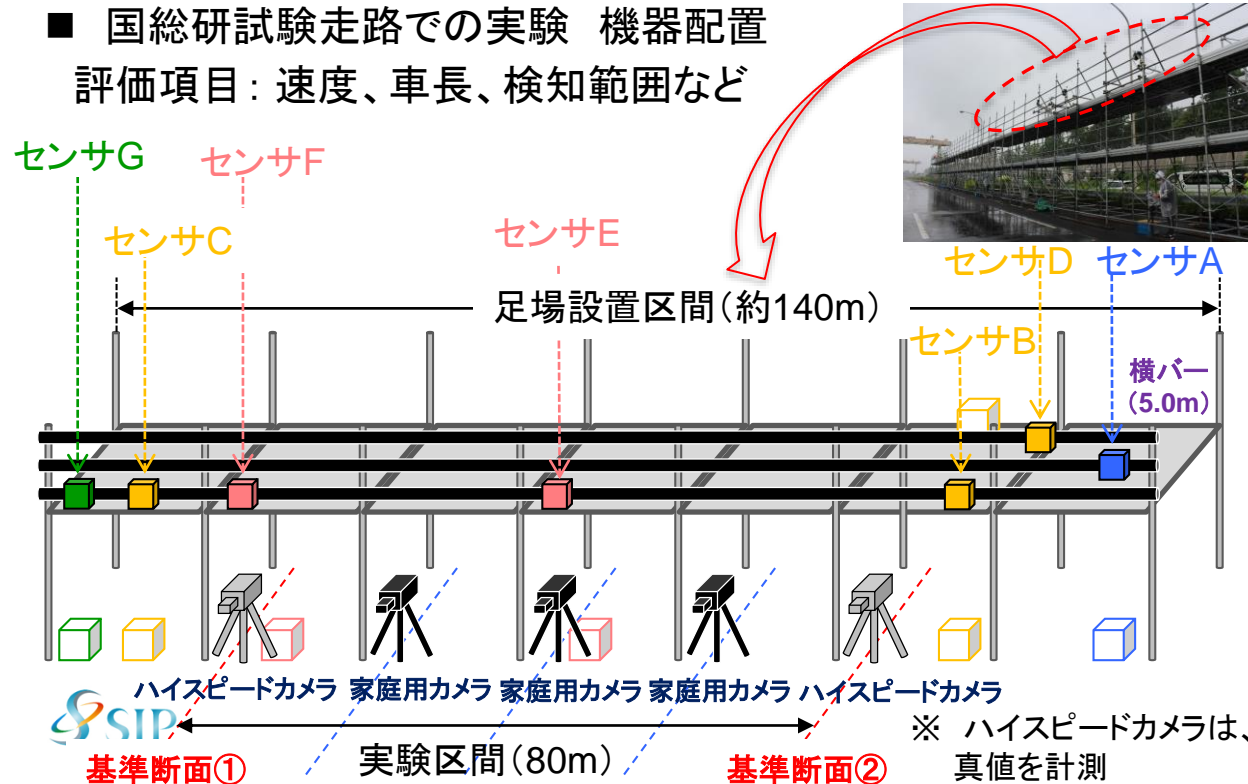
高速道路の合流支援サービスの実証実験

車両検知センサ(DAY2)の精度確認実験(実験内容)

- 本線の交通状況を精度良く検知可能な車両検知センサが必要となるため、国総研試験走路において、車両検知センサ(DAY2)の精度確認実験を実施

■ 国総研試験走路での実験 機器配置

評価項目：速度、車長、検知範囲など



センサ名	機種・設置位置
センサA	レーダー 基準断面②より30m下流
センサB	LiDAR 基準断面②より10m下流
センサC	LiDAR 基準断面①より15m上流
センサD	レーダー 基準断面②より20m下流
センサE	LiDAR+CAMERA 基準断面①より40m下流
センサF	LiDAR 基準断面①
センサG	レーダー： 基準断面①より20m上流

車両検知センサ(DAY2)の精度確認実験(実験結果:速度)

速報値

- 上流側・下流側ともに、要求精度(誤差が0.1km/h程度)は満足していない。
- 下流側の方が、上流側と比べて誤差が大きい傾向

速度の計測誤差(全サンプル)

(単位:km/h)

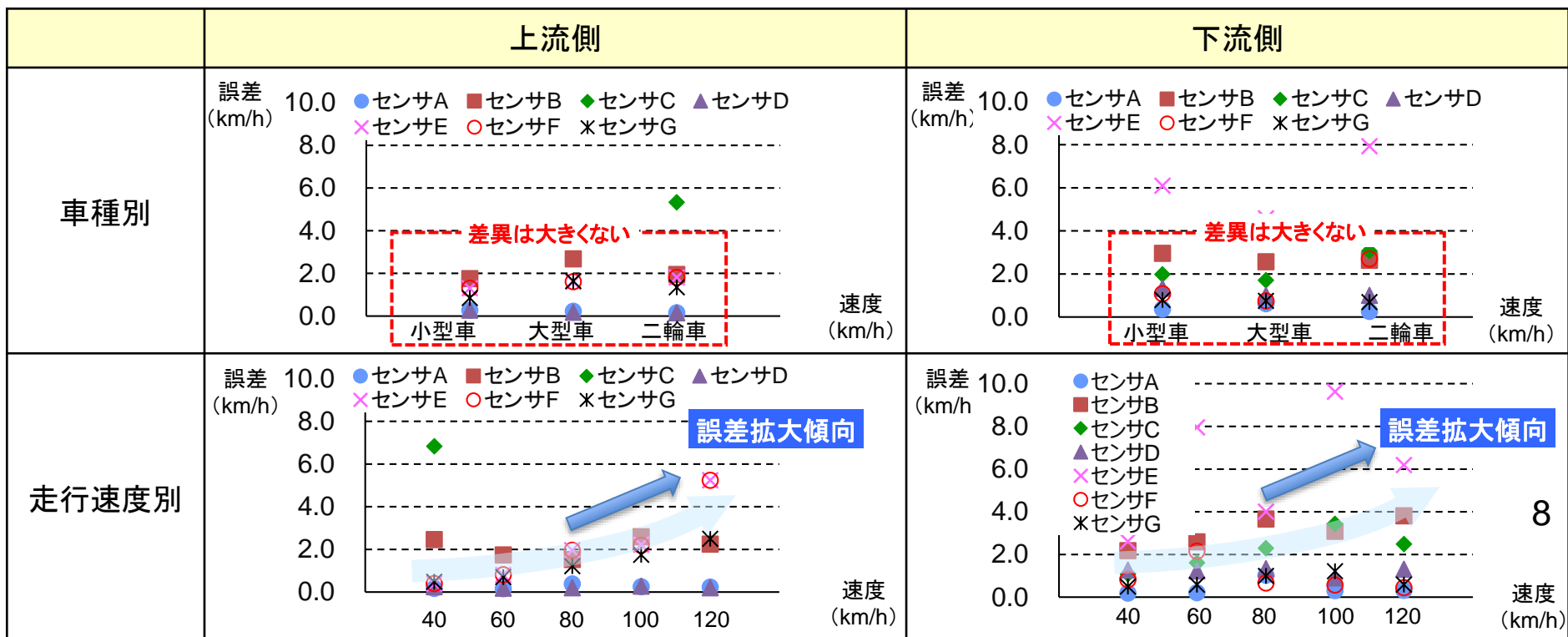
		センサA	センサB	センサC	センサD	センサE	センサF	センサG
上流側	平均値	0.14	0.19	-18.06	-0.02	0.53	0.48	0.85
	平均値 (絶対値)	0.25	1.96	18.40	0.25	1.39	1.39	1.03
	標準偏差	0.48	3.05	15.00	0.36	2.02	2.02	1.21
下流側	平均値	0.02	-1.53	0.12	-0.89	-2.37	-0.40	0.19
	平均値 (絶対値)	0.41	2.86	1.99	1.25	5.93	1.13	0.78
	標準偏差	1.32	3.27	3.52	1.82	13.08	3.41	1.86

※ サンプル数(走行回数)は、170回~208回

車両検知センサ(DAY2)の精度確認実験(実験結果:速度)

速報値

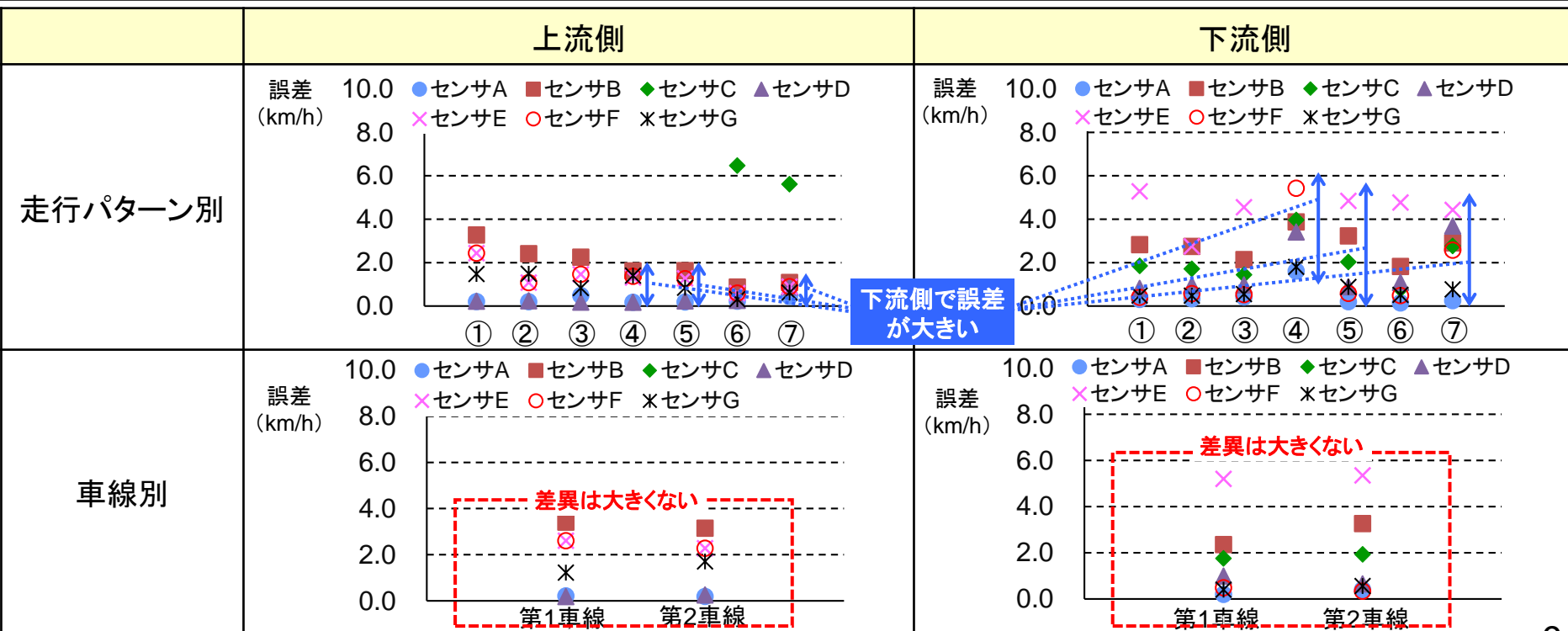
- 車種別: 車種については、計測誤差の明確な差異は見られない。
- 速度別: 速度が大きいほど、誤差が若干大きくなる傾向。



車両検知センサ(DAY2)の精度確認実験(実験結果:速度)

速報値

- 走行パターン別:「追越」、「車線変更」、「加速」において、下流側の誤差が拡大傾向。
- 車線別:車線については、計測誤差の明確な差異は見られない。



※ 走行パターンは、「①単独」、「②3台並走(1)」、「③3台並走(2)」、「④追越」、「⑤車線変更」、「⑥車間短」、「⑦加速」

車両検知センサ(DAY2)の精度確認実験(実験結果:車長)

速報値

- 最も精度の良いセンサの計測誤差は約0.20m。
- センサB及びセンサGでは、上流と下流で計測誤差の傾向が異なる。

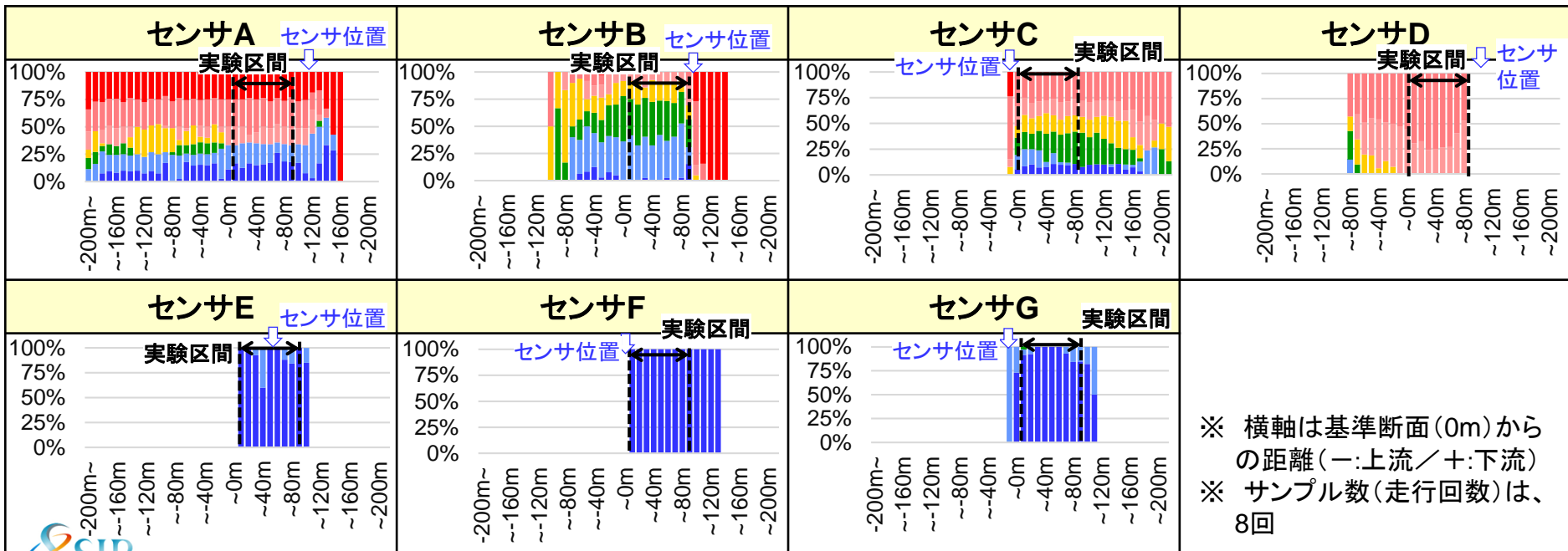
車長の計測誤差(全サンプル)

(単位:m)

		センサA	センサB	センサC	センサD	センサE	センサF	センサG
上流側	平均値	0.68	-3.04	0.89	-3.04	0.03	0.04	-2.19
	平均値 (絶対値)	1.14	3.06	1.11	3.04	0.24	0.21	2.24
	標準偏差	1.55	1.36	1.23	0.98	0.76	0.74	1.86
下流側	平均値	0.85	0.90	1.47	-0.41	0.03	0.02	0.28
	平均値 (絶対値)	0.94	1.63	1.57	0.92	0.24	0.23	1.13
	標準偏差	0.92	1.84	1.25	1.11	0.76	0.79	1.70

※ サンプル数(走行回数)は、上流、下流、ともに215回

- 検知範囲が狭いセンサ(E、F、G)は、計測誤差は概ね1m。一方、検知範囲が広いセンサ(A、B、C、D)は、計測誤差が大きい傾向。
- 100m以上の区間を検知する必要がある場合、複数のセンサを設置することが望ましい。

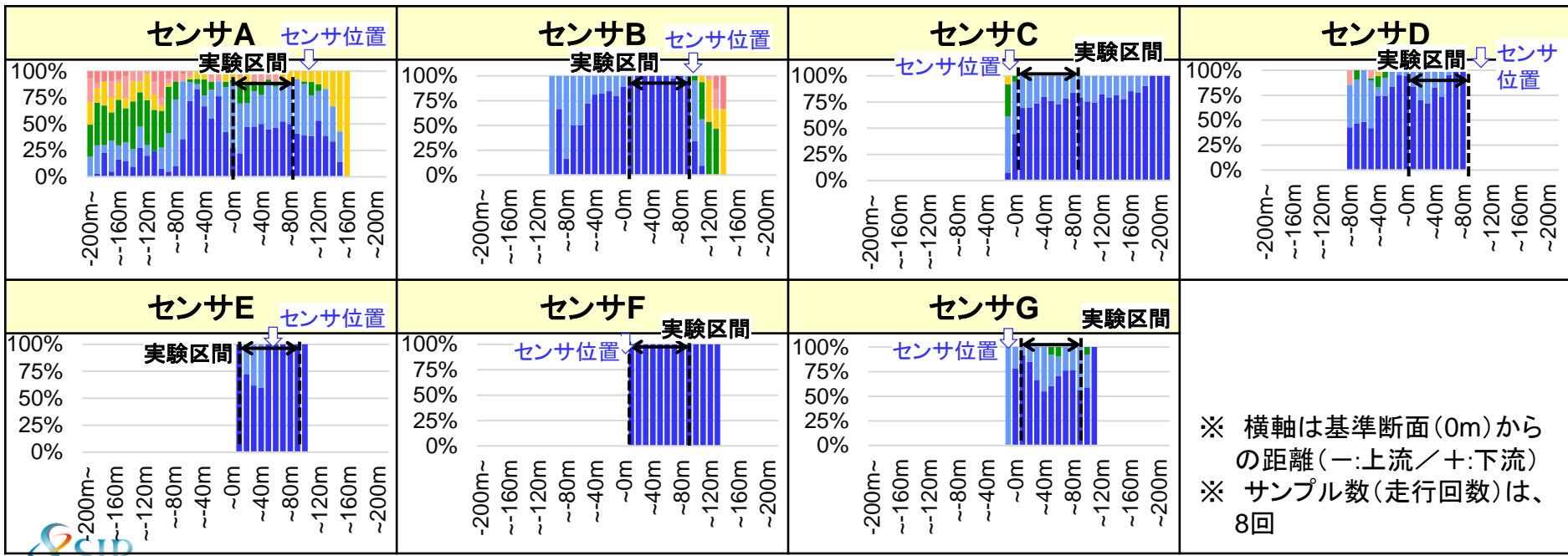


凡例: ■ ±1m ■ ±2m ■ ±3m ■ ±4m ■ ±5m ■ ±10m ■ ±10m以上

車両検知センサ(DAY2)の精度確認実験(実験結果: 検知範囲、横方向)

速報値

- 横方向の計測誤差は、進行方向より小さい。
- 実験区間(80m)を超過すると、計測誤差は大きくなる傾向(=走行車線を誤検知する可能性)。
- 100m以上の区間を検知する必要がある場合、複数のセンサを設置することが望ましい。



凡例: ■ ±1m ■ ±2m ■ ±3m ■ ±4m ■ ±5m ■ ±10m ■ ±10m以上

SIP-adus Workshop 2020

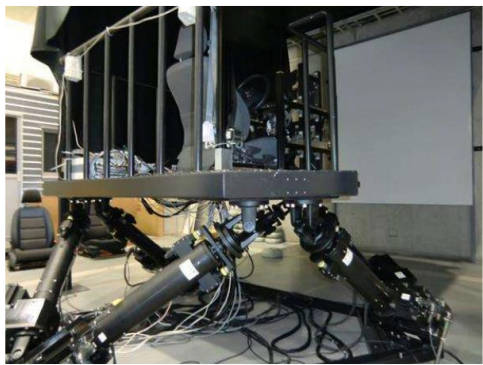
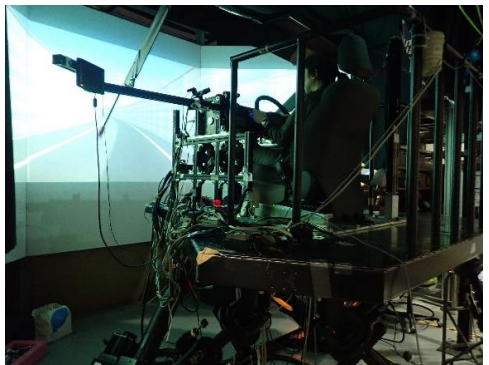


ドライビングシミュレーター による合流支援情報の効果 評価実験

実験概要(実験の目的)

- 合流支援システムが提供する本線車両情報について、**ドライビングシミュレーター**を用いて、ドライバー(人間)が当該情報の効果を評価。

■ 実験に使用したドライビングシミュレーター(東京大学生産技術研究所)



実験概要 (ケース設定)

- 本線の交通状況は、全部で6パターン(車間時間2、3秒 × 速度50、70、90km/h)。
- 合流する車両に対して、「情報なし」、「音声情報あり(本線速度)」の2パターンを実験。
- 被験者に対して、本線車両情報の理解度、緊張度、難易度に関するアンケートを行うとともに、ドライビングシミュレーター(DS)データを取得。

本線交通状況

速度

車間距離

50km/h

30m

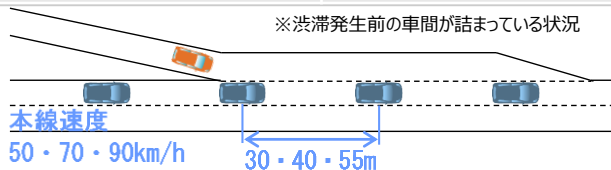
70km/h

40m

90km/h

55m

※渋滞発生前の車間が詰まっている状況



車間時間
2秒

50km/h

45m

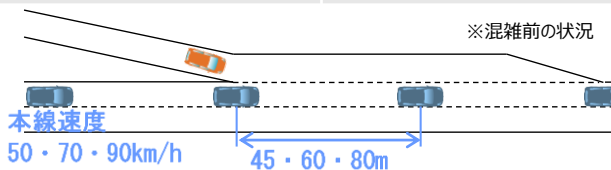
70km/h

60m

90km/h

80m

※混雑前の状況



車間時間
3秒

提供内容

合流支援
情報なし

音声情報は提供しない

遮音壁で本線車両は
見えない

加速区間 160m

50m

合流車両 (被験者)

本線車両 (DS)

本線速度情報
(音声)

提供位置

80m

合流車両が「ハード・ノーズ」に到達したとき(80m/平均 50km/h
≒ 6s 後)に、本線車両(70km/h)が前後 2秒以内に存在
する場合に音声情報を提供

合流車両 (被験者)

本線車両 (DS)

約 78~155m に本線車両が存在

概要

実験結果1-1(ドライバーへのアンケート分析結果)

- 「理解度(本線の交通状況)」は、本線速度情報によって大きく改善しており、**全パターンで評価が5程度(7段階評価)で、有意差も認められる。**
- 「難易度」では、**車間時間2秒の90km/h、及び車間時間3秒の50km/hで0.8ポイント改善し、かつ有意差が見られることから、音声情報による合流支援効果を確認。**
- 高速道路の合流が苦手な被験者においては、本線の交通状況に依らず、**全般的に評価が高い傾向。**

■ 高速道路合流が**苦手**な被験者の平均値(N=10)【7段階評価】

走行パターン		理解度 数値が大きいほど、 理解度高い		緊張度 数値が大きいほど、 緊張度高い		難易度 数値が大きいほど、 難易度高い	
		情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり
車間時間 2秒	50km/h	3.1	4.8*	4.8	4.2	5.0	4.6
	70km/h	3.6	5.1*	4.3	4.0	4.4	3.8
	90km/h	2.9	5.2*	4.8	4.3	5.3	4.3*
車間時間 3秒	50km/h	3.2	5.2*	4.2	3.9	4.5	3.7*
	70km/h	3.7	5.2*	4.0	4.3	3.9	3.5
	90km/h	2.9	5.3	4.6	3.9	4.5	4.5

※「情報なし」に比べて0.5ポイント以上向上した数値は青字、「情報なし」との比較(T検定)で5%有意差がある場合は「赤字*」で記載

実験結果1-2(ドライバーへのアンケート分析結果)

- 高速道路の合流が苦手でない方は、苦手な方に比べて、理解度・緊張度・難易度ともに、改善度が低い傾向。
- 最も容易と考えられた車間時間3秒・本線速度50km/hにおいて、理解度・緊張度・難易度が改善。想定する本線速度(70km/h程度)よりも低い速度の場合も、かえって合流しづらい状況が生じており、音声情報による効果が見られたものと推察。

■ 高速道路合流が苦手でない被験者の平均値(N=10)【7段階評価】

走行パターン		理解度 (数値が大きいほど、 理解度高い)		緊張度 (数値が大きいほど、 緊張度高い)		難易度 (数値が大きいほど、 難易度高い)	
		情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり
車間時間 2秒	50km/h	4.6	5.1	4.0	4.0	3.6	3.6
	70km/h	4.9	5.0	3.5	3.6	3.3	3.4
	90km/h	4.3	4.7	3.9	4.1	3.9	4.5
車間時間 3秒	50km/h	4.0	5.9*	3.3	2.6	3.6	2.3
	70km/h	5.0	5.6	2.8	2.8	2.6	2.6
	90km/h	4.5	5.3	4.2	3.5*	3.6	3.0

※「情報なし」に比べて0.5ポイント以上向上した数値は青字、「情報なし」との比較(T検定)で5%有意差がある場合は「赤字*」で記載

実験結果2-1 (DSデータ分析結果)

- 車間2秒の70km/hおよび90km/hにおいて、「情報あり」が「情報なし」と比べて安全性が向上、かつ有意な差が認められた。
- その他の車間時間及び速度域では、有意差までは認められないが、概ね安全性が向上。情報提供による効果が確認できる。

■ 高速道路合流が**苦手**な被験者の平均値(N=10)

評価指標	車間2秒						車間3秒					
	50km/h		70km/h		90km/h		50km/h		70km/h		90km/h	
	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり
TTC	29.95	25.74	14.55	44.04	4.76	10.76	16.03	20.77	74.52	50.37	12.25	15.39
合流時速度	48.35	49.55	62.28	64.77	66.97	73.89	53.76	47.84	63.47	62.68	66.72	70.47
アクセル操作量	0.50	0.45	0.65	0.68	0.78	0.79	0.62	0.42	0.62	0.71	0.73	0.77
減速度	-0.028	-0.043	-0.011	-0.026	-0.012	-0.013	-0.038	-0.020	-0.016	-0.012	-0.014	-0.008

※「情報なし」とのT検定結果 緑: 運転が安全性は向上したが、有意差なし 青: 運転行動が安全性は向上し、かつ有意差あり

TTC (Time-To-Collision): 衝突余裕時間であり、大きいほど安全性が高い

実験結果2-2(DSデータ分析結果)

- 車間3秒の90km/hにおいて、「情報あり」が「情報なし」に比べて安全性が向上。合流が苦手でない方に対して全体的に安全性が向上しており、情報提供による効果を確認。
- 一方、車間2秒の50km/h及び車間3秒の70km/hでは、「情報あり」での安全性の向上が見られない。音声情報からイメージした交通状況と合流時に経験した交通状況が違い（「車間が広いと感じたが狭かった」等）が運転に影響したと考えられる。

■ 高速道路合流が苦手でない被験者の平均値(N=10)

評価指標	車間2秒						車間3秒					
	50km/h		70km/h		90km/h		50km/h		70km/h		90km/h	
	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり	情報なし	情報あり
TTC	77.74	19.50	8.10	12.74	3.72	5.22	31.35	68.86	62.08	19.68	5.12	56.12
合流時速度	45.08	44.79	55.98	59.48	58.73	62.23	49.87	45.04	57.94	58.46	60.66	62.08
アクセル操作量	0.58	0.49	0.67	0.69	0.72	0.78	0.58	0.47	0.71	0.74	0.79	0.80
減速度	-0.011	-0.009	-0.006	-0.011	-0.007	-0.012	-0.010	-0.019	-0.013	-0.014	-0.007	-0.008

※「情報なし」とのT検定結果 緑: 運転が安全性は向上したが、有意差なし 青: 運転行動が安全性は向上し、かつ有意差あり

SIP-adus Workshop 2020



今後の課題

- **合流支援サービスの精度向上**は大きな課題。そのためには、**合流支援サービス(DAY2)の具体化**が重要。

- 車両検知センサ(DAY2)の更なる精度確認
 - ・ 実道での長期実証実験による精度確認
- 合流支援サービス(DAY2)のコンセプトの具体化
 - ・ 合流支援サービス(DAY2)の仕様の作成
- 合流支援サービスが要求される箇所の具体化
 - ・ 道路の構造の観点
 - ・ 本線の交通状況の観点

SIP-adus Workshop 2020

ご清聴有難う御座いました。